

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**



**«EVALUACIÓN DEL USO DE ARCILLA ESTABILIZADA
TÉRMICAMENTE COMO FILLER EN LA MEZCLA
ASFÁLTICA»**

Por:

ERLAN DELIO ALTAMIRANO REYES

Proyecto de Grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I - 2021

TARIJA – BOLIVIA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**

**«EVALUACIÓN DEL USO DE ARCILLA ESTABILIZADA
TÉRMICAMENTE COMO FILLER EN LA MEZCLA
ASFÁLTICA»**

Por:

ERLAN DELIO ALTAMIRANO REYES

SEMESTRE I – 2021

TARIJA - BOLIVIA

M.Sc. Ing. Aurelio José Navia Ojeda

DECANO

**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

M.Sc. Lic. Daysi Arancibia Márquez

VICEDECANA

**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

M.Sc. Ing. Luis Alberto Yurquina Flores

M.Sc. Ing. Trinidad C. Baldivieso Montalvo

M.Sc. Ing. Laura Karina Soto Salgado

El tribunal calificador del presente proyecto, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el presente trabajo, siendo las mismas, únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

A mis padres: Delio Altamirano Miranda y Edith Reyes Vásquez, por su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

A mis hermanas Sirley y Carolina y a mis tíos, tías, por apoyarme siempre, por haber confiado en mí, y tenerme paciencia durante todos estos años, y así poder cumplir con esta gran meta.

PENSAMIENTO

“Solo triunfa en el mundo quien se levanta y busca a las circunstancias, creándolas si no las encuentras”.

George Bernard Shaw

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme vida y permitirme llegar a cumplir con esta gran anhelada meta en mi vida.

A mis padres y hermanas y a toda mi familia por el apoyo incondicional que me brindaron, por su cariño y por el ejemplo que de una u otra manera me dieron.

A la universidad Autónoma Juan Misael Saracho por acogerme todos estos años de formación académica

A la Ing. Seila Ávila y Don Carlitos Subía por la paciencia y el apoyo incondicional que me brindaron para poder culminar el presente proyecto.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Pág.
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. DISEÑO TEÓRICO.....	3
1.3.1. Planteamiento del problema.....	3
1.3.1.1. Situación problemática.....	3
1.3.1.2. Problema.....	4
1.3.2. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.2.1. Objetivo general.....	4
1.3.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3.3. Hipótesis.....	4
1.3.4. Definición de las variables.....	5
1.3.4.1. Variables independientes.....	5
1.3.4.2. Variables dependientes.....	5
1.4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	5
1.4.1. Métodos y técnicas empleadas.....	5
1.4.1.1. Definición, selección y/o elaboración de los métodos y técnicas.....	5
1.4.1.2. Técnicas de muestreo.....	5
1.4.1.2.1. Ensayos a realizar para los agregados.....	6
1.4.1.2.2. Ensayos a realizar para filler.....	7
1.4.1.2.3. Ensayos a realizar para el cemento asfáltico.....	7
1.4.1.3. Procedimiento de aplicación.....	9
1.4.1.4. Metodología de la práctica.....	10
1.4.2. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.....	10
1.4.2.1 Análisis estadístico.....	10
1.4.3. Alcance del estudio.....	14

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

	Pág.
2.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	15
2.1.1. Mezclas asfálticas en caliente.....	15
2.1.2. Diseño de mezclas asfálticas.....	16
2.1.3. Métodos de diseño de mezclas asfálticas caliente en laboratorio.....	17
2.1.4. Características y comportamiento de la mezcla.....	17
2.1.4.1. Densidad de la mezcla.....	18
2.1.4.2. Vacíos de aire.....	18
2.1.4.3. Vacíos en el agregado mineral.....	19
2.1.4.4. Contenido de asfalto.....	20
2.1.5. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas.....	22
2.1.5.1. Estabilidad.....	22
2.1.5.2. Durabilidad.....	24
2.1.5.3. Impermeabilidad.....	26
2.1.5.4. Trabajabilidad.....	28
2.1.5.5. Flexibilidad.....	30
2.1.5.6. Resistencia a la fatiga.....	30
2.1.5.7. Resistencia al deslizamiento.....	32
2.1.6. Propiedades físicas de los agregados.....	32
2.1.7. Método de diseño Marshall.....	33
2.1.8. Propiedades método Marshall.....	34
2.1.8.1. Fluencia.....	34
2.1.8.2. Estabilidad.....	34
2.1.8.3. Porcentaje de vacíos de la mezcla.....	35
2.1.8.4. Porcentaje de vacíos del agregado mineral.....	35
2.1.8.5. Densidad.....	35
2.1.9. Arcillas.....	35
2.1.10. Propiedades físico mecánicas de las arcillas.....	36
2.1.10.1. Superficie específica.....	37

2.1.10.2. Capacidad de intercambio catiónico.....	37
2.1.10.3. Capacidad de absorción.....	38
2.1.10.4. Hidratación e hinchamiento.....	38
2.1.10.5. Plasticidad.....	39
2.1.10.6 Tixotropía.....	39
2.1.11. Filler mineral.....	40
2.1.12. Elección del filler adecuado.....	40
2.1.13. Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas.....	41
2.1.13.1. Mejorar el cerrado de las mezclas sin el empleo exagerado de asfalto.....	41
2.1.13.2. Incrementar la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica.....	41
2.1.13.3. Incrementar la durabilidad de la mezcla.....	41

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Pág.
3.1. COMPONENTES.....	42
3.1.1. Unidad de estudio.....	42
3.1.2. Población.....	42
3.1.3. Muestra.....	42
3.1.4. Técnicas de muestreo.....	42
3.2. CRITERIOS ADOPTADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	42
3.2.1. Criterios para determinar los porcentajes de filler.....	42
3.2.2. Criterios para determinar los tiempos de estabilización.....	43
3.3. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	43
3.3.1. Criterios para determinar el número de bancos.....	43
3.3.2. Criterios de selección de agregados pétreos.....	44
3.3.3. Criterios de selección de cemento asfáltico.....	44
3.4. CRITERIOS PARA DETERMINAR DEL NÚMERO DE ENSAYOS.....	44
3.4.1. Criterios del número de ensayos para la caracterización de los agregados....	45
3.4.2. Criterio del número de ensayos para el cemento asfáltico.....	46
3.4.3. Criterio del número de ensayos para la caracterización del filler.....	46

3.4.4. Criterio del número de briquetas.....	47
3 5. ESTABILIZACIÓN TÉRMICA DE LOS BANCOS DE ARCILLA.....	49
3 5.1. Aplicabilidad del reemplazo del filler dentro de la elaboración de mezclas asfálticas.....	49
3.5.2. Otros usos del material.....	49
3.5.3. Proceso de obtención del filler.....	50
3.6. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	50
3.6.1. Ubicación de la fuente de los materiales a utilizarse.....	50
3.6.1.1. Agregado pétreo.....	50
3.6.1.2. Cemento asfáltico.....	51
3.6.1.3. Ubicación geo referencial de los bancos de arcilla.....	52
3.6.2. Caracterización de los agregados.....	55
3.6.2.1. Ensayo de granulometría (ASTM C-136).....	55
3.6.2.2. Peso específico del agregado grueso ASTM C-127 (grava, gravilla).....	61
3.6.2.3. Peso específico del agregado fino ASTM C-128 (arena).....	64
3.6.2.4. Equivalente de arena (ASTM D 2419).....	66
3.6.2.5. Ensayo de peso unitario agregados (ASTM C-29).....	68
3.6.2.6. Ensayo de desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM C-131)..	71
3.6.2.7. Ensayo de porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821).....	74
3.6.2.8. Ensayo de determinación de partículas largas y achatadas (ASTM D-4791).	75
3.6.3. Caracterización del cemento asfáltico.....	77
3.6.3.1. Ensayo de penetración (ASTM D-5).....	77
3.6.3.2. Ensayo punto de inflamación (ASTM D-92).....	78
3.6.3.3. Ensayo peso específico del asfalto (ASTM D-70).....	79
3.6.3.4. Ensayo punto de ablandamiento (ASTM D-36).....	81
3.6.3.5. Ensayo ductilidad (ASTM D-113).....	82
3.6.4. Caracterización del filler.....	83
3.6.4.1. Ensayo de determinación de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D-4318).....	83
3.6.4.2. Ensayo de granulometría método del lavado (ASTM C-136).....	89

3.6.4.3. Determinación del contenido de humedad (ASTM D2216).....	92
3.6.4.4. Ensayo de peso específico del filler (ASTM D-854).....	93
3.6.4.5. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro ASTM D-422.....	95
3.7. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON DIFERENTES PORCENTAJES DE FILLER.....	113
3.7.1. Diseño granulométrico.....	113
3.7.2. Dosificación de mezclas asfálticas.....	118
3.7.3. Elaboración de briquetas.....	120
3.7.4. Rotura de briquetas.....	122
3.7.5. Datos y resultados de propiedades Marshall.....	124
3.7.6. Determinación de porcentaje óptimo de cemento asfáltico.....	129

CAPÍTULO IV
EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ARCILLAS
ESTABILIZADAS TÉRMICAMENTE

	Pág.
4.1. RESUMEN DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DE DISEÑO.....	135
4.2. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ARCILLA ESTABILIZADA TÉRMICAMENTE.....	136
4.2.1. Resultados de propiedades Marshall con arcilla estabilizada térmicamente...	137
4.3. EVALUACIÓN DE LAS MEZCLAS POR BANCOS DE ARCILLA ESTABILIZADA TÉRMICAMENTE.....	164
4.3.1. Determinación de porcentajes óptimos de filler y tiempo de estabilización térmica.....	166
4.3.2. Resultados finales de cada banco de filler.....	174
4.4. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	175
4.4.1. Datos estadísticos.....	175
4.4.2. Estadística descriptiva.....	176
4.4.3. Estadística inferencial.....	178
4.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	179

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Pág.
5.1. CONCLUSIONES.....	181
5.2. RECOMENDACIONES.....	182

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- Anexo 1. Planillas de caracterización de agregados
- Anexo 2. Planillas de caracterización del cemento asfáltico
- Anexo 3. Planilla de caracterización de las arcillas
- Anexo 4. Planillas de diseño granulométrico
- Anexo 5. Planillas Marshall

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.....	24
Tabla 2.2. Causas y efectos de una poca durabilidad.....	26
Tabla 2.3. Causas y efectos de la permeabilidad.....	27
Tabla 2.4. Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.....	29
Tabla 2.5. Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga.....	31
Tabla 2.6. Causas y Efectos de Poca Resistencia al Deslizamiento.....	32
Tabla 3.1. Número de ensayos de los agregados pétreos.....	45
Tabla 3.2. Número de ensayos del cemento asfáltico.....	46
Tabla 3.3. Número de briquetas para el contenido óptimo de cemento asfáltico....	47
Tabla 3.4. Número de briquetas para determinar el tiempo óptimo de estabilización térmica y porcentaje óptimo de filler para cada banco.....	48
Tabla 3.5. Total, número de briquetas realizadas en el presente estudio.....	49
Tabla 3.6. Coordenadas de la ubicación del agregado pétreo.....	51
Tabla 3.7. Coordenadas de la ubicación del cemento asfáltico.....	52
Tabla 3.8. Coordenadas de la ubicación del B. La Cañada.....	53
Tabla 3.9. Coordenadas de la ubicación del B. Juan Nicolai.....	54
Tabla 3.10. Coordenadas de la ubicación del barrio Monte Cristo.....	55
Tabla 3.11. Datos de las granulometrías de la grava 3/4”.....	56
Tabla 3.12. Datos de las granulometrías de la gravilla 1/2”.....	57
Tabla 3.13. Datos de las granulometrías de la arena.....	57
Tabla 3.14. Planilla de resultados de las granulometrías promedio.....	58
Tabla 3.15. Planilla de resultados de las granulometrías promedio.....	59
Tabla 3.16. Planilla de resultados de las granulometrías promedio.....	60
Tabla 3.17. Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso (grava)....	62
Tabla 3.18. Resultados del ensayo de peso específico para grava.....	63
Tabla 3.19. Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso (gravilla)...	63
Tabla 3.20. Resultados del ensayo de peso específico para gravilla 1/2”.....	64
Tabla 3.21. Datos del ensayo de peso específico para arena.....	65
Tabla 3.22. Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino.....	66

Tabla 3.23. Datos del ensayo equivalente de arena	67
Tabla 3.24. Resultados del ensayo equivalente de arena.....	68
Tabla 3.25. Datos del ensayo de peso unitario suelto de la grava 3/4”.....	69
Tabla 3.26. Datos del ensayo de peso unitario compactado de la grava 3/4”.....	69
Tabla 3.27. Resultados del ensayo de peso unitario de la grava 3/4”.....	70
Tabla 3.28. Datos del peso unitario suelto de la gravilla 3/8”.....	70
Tabla 3.29. Datos del peso unitario compactado de la gravilla 3/8”.....	70
Tabla 3.30. Resultados del ensayo de la gravilla 3/8”.....	71
Tabla 3.31. Datos del peso unitario suelto de la arena.....	71
Tabla 3.32. Datos del peso unitario compactado de la arena.....	71
Tabla 3.33. Resultados del ensayo de la arena.....	71
Tabla 3.34. Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4”.....	72
Tabla 3.35. Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 1/2”.....	73
Tabla 3.36. Datos del ensayo de caras fracturadas.....	75
Tabla 3.37. Resultados del ensayo de caras fracturadas.....	75
Tabla 3.38. Datos del ensayo partículas chatas y alargadas.....	77
Tabla 3.39. Resultados del ensayo partículas chatas y alargadas.....	77
Tabla 3.40. Datos del ensayo penetración del cemento asfáltico 85-100.....	78
Tabla 3.41. Datos del ensayo punto de inflamación.....	79
Tabla 3.42. Datos del ensayo peso específico.....	80
Tabla 3.43. Resultados del ensayo peso específico.....	81
Tabla 3.44. Datos y resultado del ensayo de punto de ablandamiento.....	82
Tabla 3.45. Datos y resultados del ensayo de ductilidad.....	83
Tabla 3.46. Planilla de datos y resultados para la granulometría.....	85
Tabla 3.47. Datos para la determinación del ensayo límite plástico.....	86
Tabla 3.48. Resultados de límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad e índice de grupo.....	86
Tabla 3.49. Datos para la determinación del ensayo límite líquido.....	86
Tabla 3.50. Datos para la determinación del ensayo límite plástico.....	87
Tabla 3.51. Resultados de límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad e índice de grupo.....	87

Tabla 3.52. Datos para la determinación del ensayo límite líquido.....	88
Tabla 3.53. Datos para la determinación del ensayo límite plástico.....	88
Tabla 3.54. Resultados de límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad.....	89
Tabla 3.55. Datos y resultados de la granulometría B. La Cañada.....	90
Tabla 3.56. Datos y resultados de la granulometría B. Juan Nicolai.....	90
Tabla 3.57. Datos y resultados de la granulometría B. Monte Cristo.....	91
Tabla 3.58. Datos y resultados del contenido de humedad B. La Cañada.....	92
Tabla 3.59. Datos y resultados del contenido de humedad B. Juan Nicolai.....	92
Tabla 3.60. Datos y resultados del contenido de humedad B. Monte Cristo.....	93
Tabla 3.61. Datos de la calibración de frasco volumétrico.....	93
Tabla 3.62. Datos y resultados del ensayo de peso específico del filler banco 1....	94
Tabla 3.63. Datos y resultados del ensayo de peso específico del filler banco 2....	95
Tabla 3.64. Datos y resultados del ensayo de peso específico del filler banco 3....	95
Tabla 3.65. Datos y resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	96
Tabla 3.66. Resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	97
Tabla 3.67. Datos y resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	98
Tabla 3.68. Resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	99
Tabla 3.69. Datos y resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	100
Tabla 3.70. Resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	101
Tabla 3.71. Datos y resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	102
Tabla 3.72. Resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	103
Tabla 3.73. Datos y resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	104
Tabla 3.74. Resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	105
Tabla 3.75. Datos y resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	106
Tabla 3.76. Resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	107
Tabla 3.77. Datos y resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	108
Tabla 3.78. Resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	109
Tabla 3.79. Datos y resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	110
Tabla 3.80. Resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	111
Tabla 3.81. Datos y resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	112
Tabla 3.82. Resultados de la granulometría - método del hidrómetro.....	113

Tabla 3.83. Diseño granulométrico para 2% filler.....	114
Tabla 3.84. Diseño granulométrico para 4% filler.....	115
Tabla 3.85. Diseño granulométrico para 6% filler.....	116
Tabla 3.86. Diseño granulométrico para 8% filler.....	117
Tabla 3.87. Variaciones del porcentaje del cemento asfáltico para obtener el porcentaje óptimo de cada diseño granulométrico.....	118
Tabla 3.88. Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 2% filler.....	119
Tabla 3.89. Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 4% filler.....	119
Tabla 3.90. Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 6% filler.....	120
Tabla 3.91. Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 8% filler.....	120
Tabla 3.92. Propiedades volumétricas de la mezcla con 2% filler.....	125
Tabla 3.93. Estabilidad y fluencia de la mezcla con 2% filler.....	125
Tabla 3.94. Propiedades volumétricas de la mezcla con 4% filler.....	126
Tabla 3.95. Estabilidad y fluencia de la mezcla con 4% filler.....	126
Tabla 3.96. Propiedades volumétricas de la mezcla con 6% filler.....	127
Tabla 3.97. Estabilidad y fluencia de la mezcla con 6% filler.....	127
Tabla 3.98. Propiedades volumétricas de la mezcla con 8% filler.....	128
Tabla 3.99. Estabilidad y fluencia de la mezcla con 8% filler.....	128
Tabla 3.100. Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 2 % filler...	133
Tabla 3.101. Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 4 % filler...	133
Tabla 3.102. Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 6 % filler...	133
Tabla 3.103. Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 8 % filler...	134
Tabla 3.104. Resumen porcentaje óptimos de cemento asfáltico para cada mezcla	134
Tabla 4.1. Resultados de la Caracterización de los Agregados Pétreos.....	135
Tabla 4.2. Resultados de los Ensayos de Caracterización del Cemento Asfáltico...	136
Tabla 4.3. Dosificación con porcentajes óptimos para cada porcentaje de filler.....	136
Tabla 4.4. Propiedades volumétricas para 2% filler estabilizada térmicamente 1hr.	137
Tabla 4.5. Estabilidad y fluencia para 2% filler estabilizada térmicamente 1hr.....	137
Tabla 4.6. Propiedades volumétricas para 2% filler estabilizada térmicamente 2hr.	138
Tabla 4.7. Estabilidad y fluencia para 2% filler estabilizada térmicamente 2hr.....	138
Tabla 4.8. Propiedades volumétricas para 2% filler estabilizada térmicamente 3hr.	139

Tabla 4.9. Estabilidad y fluencia para 2% filler estabilizada térmicamente 3hr.....	139
Tabla 4.10. Propiedades volumétricas para 4% filler estabilizada térmicamente 1hr.....	140
Tabla 4.11. Estabilidad y fluencia para 4% filler estabilizada térmicamente 1hr.....	140
Tabla 4.12. Propiedades volumétricas para 4% filler estabilizada térmicamente 2hr.....	141
Tabla 4.13. Estabilidad y fluencia para 4% filler estabilizada térmicamente 2hr.....	141
Tabla 4.14. Propiedades volumétricas para 4% filler estabilizada térmicamente 3hr.....	142
Tabla 4.15. Estabilidad y fluencia para 4% filler estabilizada térmicamente 3hr.....	142
Tabla 4.16. Propiedades volumétricas para 6% filler estabilizada térmicamente 1hr.....	143
Tabla 4.17. Estabilidad y fluencia para 6% filler estabilizada térmicamente 1hr.....	143
Tabla 4.18. Propiedades volumétricas para 6% filler estabilizada térmicamente 2hr.....	144
Tabla 4.19. Estabilidad y fluencia para 6% filler estabilizada térmicamente 2hr.....	144
Tabla 4.20. Propiedades volumétricas para 6% filler estabilizada térmicamente 3hr.....	145
Tabla 4.21. Estabilidad y fluencia para 6% filler estabilizada térmicamente 3hr.....	145
Tabla 4.22. Propiedades volumétricas para 8% filler estabilizada térmicamente 1hr.....	146
Tabla 4.23. Estabilidad y fluencia para 8% filler estabilizada térmicamente 1hr.....	146
Tabla 4.24. Propiedades volumétricas para 8% filler estabilizada térmicamente 2hr.....	147

Tabla 4.25. Estabilidad y fluencia para 8% filler estabilizada térmicamente 2hr.....	147
Tabla 4.26. Propiedades volumétricas para 8% filler estabilizada térmicamente 3hr.....	148
Tabla 4.27. Estabilidad y fluencia para 8% filler estabilizada térmicamente 3hr.....	148
Tabla 4.28. Resumen de propiedades Marshall para cada banco de arcilla según tiempo de estabilización térmica para mezcla 2% filler.....	149
Tabla 4.29. Resumen de propiedades Marshall para cada banco de arcilla según tiempo de estabilización térmica para mezcla 4% filler.....	153
Tabla 4.30. Resumen de propiedades Marshall para cada banco de arcilla según tiempo de estabilización térmica para mezcla 6% filler.....	157
Tabla 4.31. Resumen de propiedades Marshall para cada banco de arcilla según tiempo de estabilización térmica para mezcla 8% filler.....	161
Tabla 4.32. Resumen de propiedades Marshall por banco de filler.....	165
Tabla 4.33. Contenido óptimo de filler del banco natural.....	167
Tabla 4.34. Contenido óptimo de arcilla estabilizada térmicamente del banco 1....	169
Tabla 4.35. Contenido óptimo de arcilla estabilizada térmicamente del banco 2....	171
Tabla 4.36. Contenido óptimo de arcilla estabilizada térmicamente del banco 3....	173
Tabla 4.37. Resultado final para cada banco de filler natural y arcillas estabilizadas térmicamente.....	174
Tabla 4.38. Datos para tratamiento estadístico.....	175
Tabla 4.39. Datos ordenados para tratamiento estadístico.....	176
Tabla 4.40. Valores de estadística descriptiva.....	177
Tabla 4.41. Frecuencias de datos.....	177
Tabla 4.42. Cálculo de error.....	179
Tabla 4.43. Datos para prueba de hipótesis.....	180
Tabla 5.1. Resultado final para cada banco de filler natural y arcillas estabilizadas térmicamente.....	181

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada	19
Figura 2.2. Vacíos en el agregado mineral (requisitos de VMA).....	20
Figura 2.3. Carga que sufre una mezcla asfáltica.....	23
Figura 2.4. Muestra de poca durabilidad de la mezcla asfáltica.....	25
Figura 2.5. Extracto de mezcla asfáltica permeable	27
Figura 2.6. Trabajabilidad de una mezcla asfáltica	28
Figura 2.7. Efecto de la flexibilidad en la mezcla asfáltica.....	30
Figura 2.8. Efecto de la poca resistencia a la fatiga de la mezcla asfáltica	31
Figura 3.1. Proceso de la obtención del nuevo filler.....	50
Figura 3.2. Ubicación de la obtención del agregado grueso.....	51
Figura 3.3. Ubicación de la obtención del cemento asfáltico.....	51
Figura 3.4. Ubicación del banco 1 B. La Cañada.....	52
Figura 3.5. Extracción de muestra del banco 1, barrio La Cañada.....	53
Figura 3.6. Ubicación del banco 2 B. Juan Nicolai.....	53
Figura 3.7. Extracción de muestra del banco 2, barrio Juan Nicolai.....	54
Figura 3.8. Ubicación del banco 3 B. Monte Cristo.....	54
Figura 3.9. Extracción de muestra del banco 3, barrio Monte Cristo.....	55
Figura 3.10. Proceso del tamizado.....	56
Figura 3.11. Agregado utilizado para el ensayo.....	61
Figura 3.12. Obtención del peso sumergido en agua.....	62
Figura 3.13. Secado superficial del material.....	63
Figura 3.14. Preparación del matraz para el pesado de la muestra.....	65
Figura 3.15. Equivalente de Arena y agitación del cilindro graduado con la muestra.....	67
Figura 3.16. Lectura de la altura de arena que contiene.....	67
Figura 3.17. Peso unitario compactado del agregado 3/4”.....	69
Figura 3.18. Máquina de desgaste por abrasión y material ensayado.....	72
Figura 3.19. Agregado grueso – grava.....	73
Figura 3.20. Agregado grueso – gravilla y las 8 esferas.....	74

Figura 3.21. Partículas de caras fracturadas.....	74
Figura 3.22. Partículas largas y achatadas.....	76
Figura 3.23. Realización del ensayo de penetración del cemento asfáltico.....	78
Figura 3.24. Realización del ensayo punto de inflamación del cemento asfáltico.....	79
Figura 3.25. Realización del ensayo peso específico del cemento asfáltico.....	80
Figura 3.26. Ensayo punto de ablandamiento.....	82
Figura 3.27. Realización del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico.....	83
Figura 3.28. Aparato de casa grande.....	84
Figura 3.29. Colocado y retiro de la muestra en el aparato de casa grande.....	84
Figura 3.30. Obtención de la plasticidad de la muestra.....	85
Figura 3.31. Juego de tamices para proceder al método del lavado.....	89
Figura 3.32. Pesado de los materiales.....	121
Figura 3.33. Elaboración y compactado de las briquetas.....	122
Figura 3.34. Medición de las alturas de la briqueta.....	123
Figura 3.35. Briqueta sumergida en agua.....	123
Figura 3.36. Ensayo de Estabilidad y Fluencia.....	124

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfica 3.1. Curva granulométrica grava.....	58
Gráfica 3.2. Curva granulométrica gravilla.....	59
Gráfica 3.3. Curva granulométrica agregado fino.....	60
Gráfica 3.4. Para sacar el límite líquido a 25 golpes.....	85
Gráfica 3.5. Para sacar el límite líquido a 25 golpes.....	87
Gráfica 3.6. Para sacar el límite líquido a 25 golpes.....	88
Gráfica 3.7. Curva granulométrica – Banco 1 B. La Cañada.....	90
Gráfica 3.8. Curva granulométrica – Banco 2 B. Juan Nicolai.....	91
Gráfica 3.9. Curva granulométrica – Banco 3 B. Monte Cristo.....	91
Gráfica 3.10. Curva de calibración del frasco volumétrico.....	94
Gráfica 3.11. Distribución granulométrica.....	97
Gráfica 3.12. Distribución granulométrica.....	99
Gráfica 3.13. Distribución granulométrica.....	101
Gráfica 3.14. Distribución granulométrica.....	103
Gráfica 3.15. Distribución granulométrica.....	105
Gráfica 3.16. Distribución granulométrica.....	107
Gráfica 3.17. Distribución granulométrica.....	109
Gráfica 3.18. Distribución granulométrica.....	111
Gráfica 3.19. Distribución granulométrica.....	113
Gráfica 3.20. Curva de diseño granulométrico para 2% filler.....	115
Gráfica 3.21. Curva de diseño granulométrico para 4% filler.....	116
Gráfica 3.22. Curva de diseño granulométrico para 6% filler.....	117
Gráfica 3.23. Curva de diseño granulométrico para 8% filler.....	118
Gráfica 3.24. Curvas de propiedades volumétricas Marshall para 2 % filler.....	129
Gráfica 3.25. Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para 2 % filler.....	129
Gráfica 3.26. Curvas de propiedades volumétricas Marshall para 4 % filler.....	130
Gráfica 3.27. Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para 4 % filler.....	130
Gráfica 3.28. Curvas de propiedades volumétricas Marshall para 6 % filler.....	131
Gráfica 3.29. Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para 6 % filler.....	131

Gráfica 3.30. Curvas de propiedades volumétricas Marshall para 8 % filler.....	132
Gráfica 3.31. Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para 8 % filler.....	132
Gráfica 3.32. Variación de porcentajes óptimos según los porcentajes de filler.....	134
Gráfico 4.1. Valores de densidad según tiempo de estabilización de cada banco con el 2% filler.....	149
Gráfico 4.2. Valores de vacíos de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 2% filler.....	150
Gráfico 4.3. Valores de relación betún vacíos de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 2% filler.....	150
Gráfico 4.4. Valores de vacíos del agregado mineral de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 2% filler.....	151
Gráfico 4.5. Valores de estabilidad de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 2% filler.....	151
Gráfico 4.6. Valores de fluencia de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 2% filler.....	152
Gráfico 4.7. Valores de densidad según tiempo de estabilización de cada banco con el 4% filler.....	153
Gráfico 4.8. Valores de vacíos de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 4% filler.....	154
Gráfico 4.9. Valores de relación betún vacíos de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 4% filler.....	154
Gráfico 4.10. Valores de vacíos del agregado mineral de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 4% filler.....	155
Gráfico 4.11. Valores de estabilidad de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 4% filler.....	155
Gráfico 4.12. Valores de fluencia de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 4% filler.....	156
Gráfico 4.13. Valores de densidad según tiempo de estabilización de cada banco con el 6% filler.....	157
Gráfico 4.14. Valores de vacíos de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 6% filler.....	158

Gráfico 4.15. Valores de relación betún vacíos de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 6% filler.....	158
Gráfico 4.16. Valores de vacíos del agregado mineral de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 6% filler.....	159
Gráfico 4.17. Valores de estabilidad de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 6% filler.....	159
Gráfico 4.18. Valores de fluencia de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 6% filler.....	160
Gráfico 4.19. Valores de densidad según tiempo de estabilización de cada banco con el 8% filler.....	161
Gráfico 4.20. Valores de vacíos de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 8% filler.....	162
Gráfico 4.21. Valores de relación betún vacíos de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 8% filler.....	162
Gráfico 4.22. Valores de vacíos del agregado mineral de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 8% filler.....	163
Gráfico 4.23. Valores de estabilidad de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 8% filler.....	163
Gráfico 4.24. Valores de fluencia de la mezcla según tiempo de estabilización de cada banco con el 8% filler.....	164
Gráfico 4.25. Valores de densidad por porcentajes de filler del banco natural.....	166
Gráfico 4.26. Valores de estabilidad por porcentajes de filler del banco natural....	166
Gráfico 4.27. Valores de % de vacíos por porcentajes de filler del banco natural.....	167
Gráfico 4.28. Valores de densidad por porcentajes de arcilla estabilizada térmicamente para el banco 1.....	168
Gráfico 4.29. Valores de estabilidad por porcentajes de arcilla estabilizada térmicamente para el banco 1.....	168
Gráfico 4.30. Valores de % de vacíos por porcentajes de arcilla estabilizada térmicamente para el banco 1.....	169

Gráfico 4.31. Valores de densidad por porcentajes de arcilla estabilizada térmicamente para el banco 2.....	170
Gráfico 4.32. Valores de estabilidad por porcentajes de arcilla estabilizada térmicamente para el banco 2.....	170
Gráfico 4.33. Valores de % de vacíos por porcentajes de arcilla estabilizada térmicamente para el banco 2.....	171
Gráfico 4.34. Valores de densidad por porcentajes de arcilla estabilizada térmicamente para el banco 3.....	172
Gráfico 4.35. Valores de estabilidad por porcentajes de arcilla estabilizada térmicamente para el banco 3.....	172
Gráfico 4.36. Valores de % de vacíos por porcentajes de arcilla estabilizada térmicamente para el banco 3.....	173
Gráfico 4.37. Histograma y polígono de frecuencias.....	178
Gráfico 4.38. Histograma y curva de frecuencias acumuladas.....	178